

Ю.Г.ЕФРЕМОВ, ИПМаш НАН України**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ВИБРАЦИОННЫХ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОАГРЕГАТА**

Стаття є продовженням робіт, пов'язаних з розробкою та створенням програмно-алгоритмічного забезпечення комп'ютеризованої системи для експериментальних досліджень коливань турбоагрегату, що проводяться в ИПМаш НАН України. Розглянуто застосування методів кореляційного аналізу оцінки взаємозв'язку вібраційних та технологічних параметрів турбоагрегату. Приводяться результати дослідження виду взаємозв'язку цих параметрів графічним методом. Показано їх лінійний зв'язок. Для кількісної оцінки застосовувався коефіцієнт кореляції Пірсона. Результати приводяться у вигляді двовірних діаграм розсіяння параметрів та кривих зміни в часі коефіцієнта кореляції.

Увеличение технического ресурса, продления срока службы, обеспечение безаварийной и безопасной эксплуатации энергомеханического оборудования электростанций, вырабатывающих или выработавших свой расчетный ресурс, а также минимизация затрат на обслуживание и ремонт являются одними из наиболее актуальных проблем для энергетики Украины. Решение этих проблем возможно при правильном представлении реальных рабочих режимов и технического состояния энергооборудования и механизмов, находящихся в эксплуатации. В современных средствах контроля и диагностики вращающегося оборудования основным видом анализируемых процессов является вибрация. Одним из способов контроля вибрационного состояния вращающегося оборудования и своевременного обнаружения возникающих изменений являются стационарные системы вибрационного мониторинга. Для перехода на техническое обслуживание машин и оборудования по их фактическому состоянию, а не по регламенту необходимо не только контролировать и следить за изменением вибрационного состояния, но и определять причины вызвавшие эти изменения. Изменение вибрационного состояния турбоагрегата (ТА) может быть обусловлено как появлением (развитием) в процессе эксплуатации дефектов и неисправностей, так и изменением режима эксплуатации, характеризуемого эксплуатационными, технологическими, механическими параметрами. Причем влияние режимных параметров (рис 1) может быть соизмеримо с влиянием дефекта [1,2]. Следовательно, для определения причин изменения вибрации, связанной с появлением дефектов, необходимо исключить из рассмотрения случаи, когда на вибрационное состояние ТА влияет изменение режимов эксплуатации (технологических параметров). Для этого, необходимо определить какие из технологических параметров взаимосвязаны с вибрацией и оценить степень их влияния.

Для исследования вида взаимосвязи технологических параметров с вибрационными предлагается использовать графический метод анализа данных. Простая диаграмма рассеяния визуализирует зависимость между двумя переменными X и Y в данном случае технологическим параметром T и вибраци-

онным V . На диаграмме отдельные точки данных изображены маркерами в виде крестиков на плоскости, где оси соответствуют переменным. Прямая, изображенная на диаграмме, есть линия регрессии

$$\varphi = c_1 + c_2 \cdot T, \quad (1)$$

которая находится из условий наилучшего приближения:

$$\sum_{i=1}^N \{V_i - \varphi(c_1, c_2, \dots, c_l, T_i)\}^2 = \min. \quad (2)$$

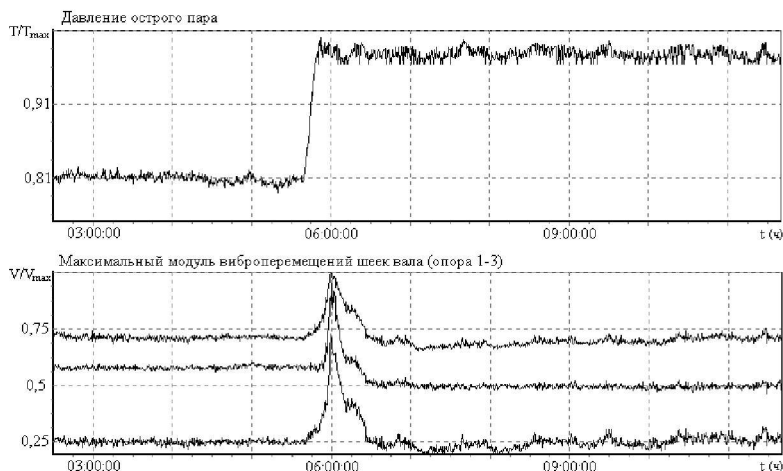


Рис. 1. Влияние давления острого пара на параметры вибрации

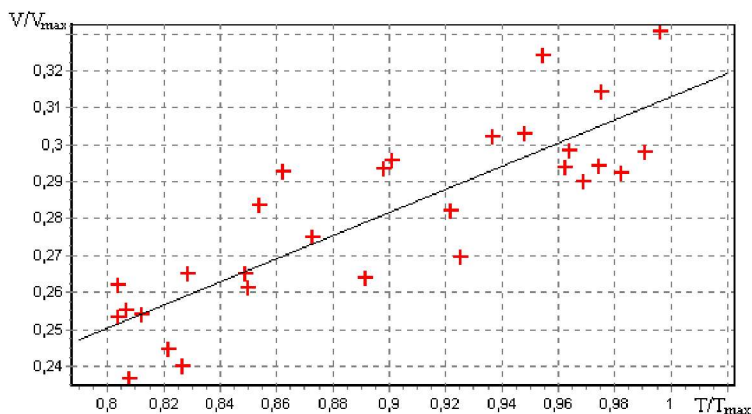


Рис. 2. Диаграмма рассеяния давления острого пара и максимального модуля виброперемещения шейки вала (опора 2).

Предположив линейность связи между технологическими параметрами и вибрационными получим уравнения для нахождения коэффициентов линии

регрессии:

$$\begin{cases} c_1 \cdot N + c_2 \cdot \sum_{i=1}^N T_i = \sum_{i=1}^N V_i; \\ c_1 \cdot \sum_{i=1}^N T_i + c_2 \cdot \sum_{i=1}^N T_i^2 = \sum_{i=1}^N T_i \cdot V_i. \end{cases} \quad (3)$$

При наличии взаимосвязи (корреляции) между переменными точки (маркеры) на графике образуют упорядоченную структуру (рис. 2) (например, прямую линию или характерную кривую если взаимосвязь не линейна). Если же переменные не взаимосвязаны, то точки образуют "облако" (рис. 3)

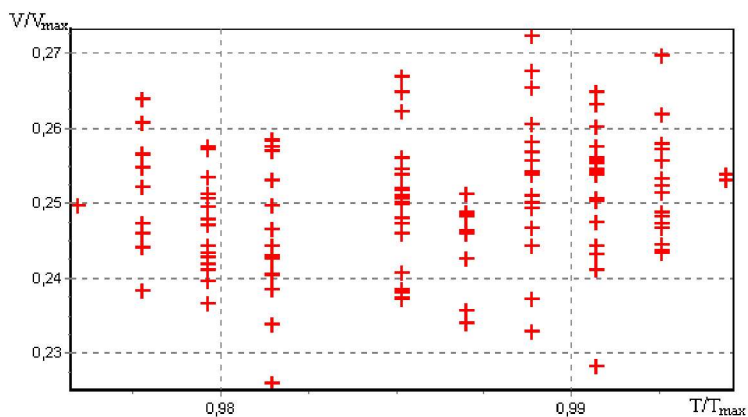


Рис. 3. Диаграмма рассеяния температуры пара и максимального модуля виброперемещения шейки вала (опора 2).

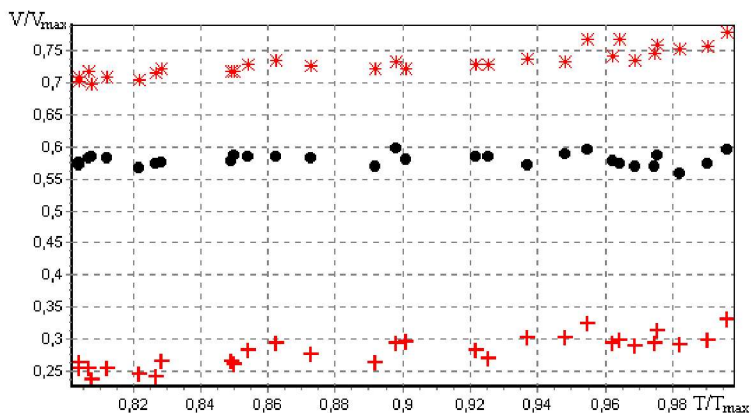


Рис. 4. Составная диаграмма рассеяния

Можно также использовать составную диаграмму рассеяния, которая со-

стоит из нескольких зависимостей и изображает несколько корреляций: значения одной переменной (Т) откладываются по горизонтальной оси, а по вертикальной оси откладываются значения нескольких переменных (V). Для каждой переменной V используется разный цвет и вид точек, так что на графике можно отличить зависимости для различных переменных. (рис. 4)

Достоинство графического метода заключается в возможности исследования нелинейных взаимосвязей между переменными. Стандартный коэффициент корреляции Пирсона r позволяет оценить только линейность связи, а некоторые непараметрические корреляции, например, Спирмена R, дают возможность оценить нелинейность, но только для монотонных зависимостей [3,4]. Используя же диаграмму рассеяния можно изучить структуру взаимосвязей, чтобы затем с помощью преобразования привести данные к линейному виду или выбрать подходящую нелинейную аппроксимацию.

Графический метод позволяет определить вид взаимосвязи между переменными, дает качественную оценку, но не дает количественную. Для количественной оценки взаимосвязи предлагается использовать коэффициент корреляции [5,6]. Наиболее часто используется коэффициент корреляции Пирсона r называемый также линейной корреляцией, т.к. он определяет рассеяние относительно линейной зависимости. Учитывая, что при исследовании взаимосвязи между технологическими параметрами и вибрационными не было выявлено нелинейных связей, в данной постановке задачи можно использовать коэффициент корреляции Пирсона.

Для нахождения коэффициента корреляции воспользуемся формулой:

$$r_{VT} = \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{s_V \cdot s_T} \sum_{i=1}^N (V_i - m_V) \cdot (T_i - m_T), \quad (4)$$

где V_i – вибрационный параметр; T_i – технологический показатель;

N – число значений вибрационных и технологических параметров в выборке;

s_V, s_T – среднеквадратичные значения выборок;

m_V, m_T – среднее арифметическое значения выборок.

После вычисления коэффициента корреляции необходимо оценить значимость полученного значения r . Коэффициент корреляции признается значимым [6], если с доверительной вероятностью p справедлива оценка

$$|r| > r_{1-p/2}, \quad (5)$$

где $r_{1-p/2}$ значение определяется по таблицам квантилей распределения выборочного коэффициента корреляции при заданном уровне значимости p и известном объеме выборки [7].

На рисунке 5 представлены на верхнем графике: изменение давления острого пара и параметров вибрации [1,2]; на среднем и нижнем - графики изменения коэффициентов корреляции при разных N ($N=30$ и $N=240$ соответственно). Коэффициенты корреляции получаются в режиме скользящего окна т.е. с каждым новым входным значением все заново пересчитывается по формуле (4). Очевидно, что результат существенно зависит от числа значений параметров в выборке. При не-

большой выборке растет погрешность, а при увеличении выборки растет “инерционность” коэффициента корреляции т.е. коэффициент корреляции запаздывает во времени (это связано с инерционностью ТА). Отклик системы (изменение вибрационного состояния ТА) на изменение режима эксплуатации происходит с некоторой задержкой во времени, причем время отклика для разных параметров и на разных режимах разных. Поэтому довольно сложно подобрать количество параметров в выборке.

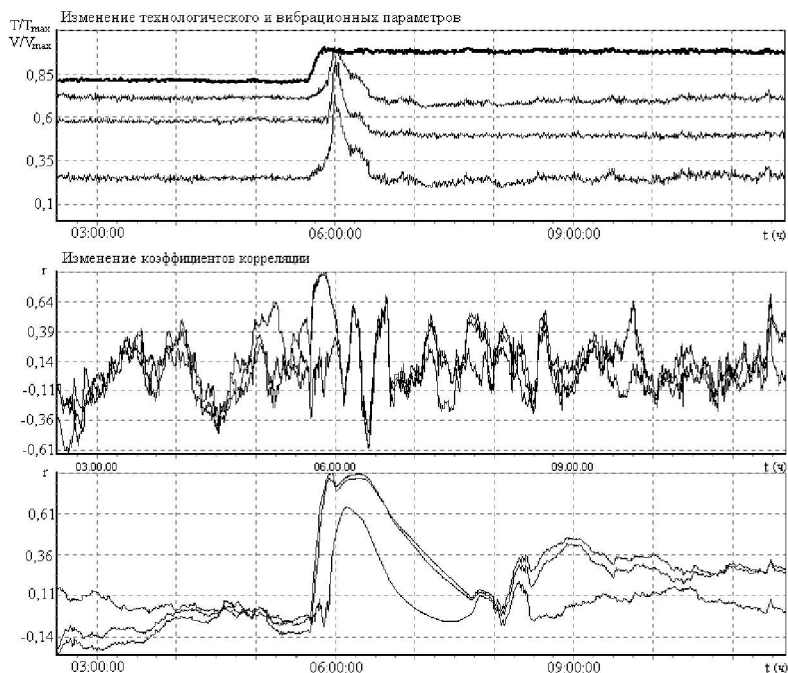


Рис. 5. Изменение коэффициентов корреляции во времени при разных объемах выборки

Применение методов корреляционного анализа для оценки взаимосвязи вибрационных и технологических параметров турбоагрегата целесообразно в постанализе. В режиме реального времени из-за большой размерности массивов, влекущих за собой увеличение числа математических операций для вычисления r (т.е. возрастают требования к быстродействию процессора и объему памяти), а также проблематичности выбора оптимального числа значений параметров в выборке возникают трудности с автоматизацией алгоритма оценки взаимосвязи вибрационных и технологических параметров ТА. Поэтому в системах мониторинга вибрации ТА для оценки влияния технологических параметров на вибрационные необходимы другие методы, позволяющие проводить эту оценку в автоматизированном режиме. Это позволит сис-

теме мониторинга и диагностики вибрационного состояния вращающегося оборудования рационально управлять процессом автоматизированного диагностирования распознавания дефектов и поврежденных механического характера, исключив влияние технологических параметров.

Список литературы: 1. Шульженко Н.Г., Билетченко В.П., Метелев Л.Д., Цыбулько В.И., Ефремов Ю.Г. Ганжа А.М. Теоретические и экспериментальные исследования колебаний роторов для решения задач диагностики и повышения надежности турбоагрегатов // Надійність машин та прогнозування їх ресурсу. Доповіді міжнар.наук-техн. конф. 20–22 вересня 2000 р. Івано-Франківськ –Яремча. Івано-Франківськ, 2000 р. С. 612–621. 2. Шульженко Н.Г., Билетченко В.П., Метелев Л.Д., Цыбулько В.И., Ефремов Ю.Г., Беспрозванный А.А., Вова Н.И., Сергеев А.П., Прудников В.И. Методическое обеспечение систем непрерывного мониторинга и анализа параметров колебаний для диагностирования вибрационного состояния роторных агрегатов // Энергетика и электрификация, № 9 (206). Киев, 2000 г. – С. 34–40. 3. Bates, D. M., & Watts, D. G. (1988). Nonlinear regression analysis and its applications. New York: Wiley. 4. Seber, G. A. F., Wild, C. J. (1989). Nonlinear regression. New York: Wiley. 5. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981 – Т.5. Измерения и испытания. – Под ред. М.Д. Генкина. 1981. 496 с. 6. Щиголов Б.М. Математическая обработка наблюдений. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960.–344 с. 7. Таблицы математической статистики. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416 с.

Поступила в редколлегию 09.02.2001

УДК 531.01

П.М.ЗАЙКА, докт.техн.наук, академик УААН;
В.И.МЕЛЬНИК, канд.техн.наук; **А.И.АНИКЕЕВ**; ХГТУСХ

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ КОМКОВ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПОЛЕТА ПОСЛЕ ВЫБРОСА РОТОРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Пропонується методика визначення параметрів закону руху по експериментальним траєкторіям вільного лету комків органічних добрив після їх викидання робочими органами роторного типу.

Предполагая конечной целью моделирование процессов распределения органических удобрений рабочими органами роторного типа, была поставлена промежуточная задача — “изучение законов движения комков органических удобрений в процессе их полета после выброса упомянутыми рабочими органами”. Конструкцию этих рабочих органов и принцип их работы не рассматриваем.

Решение будем искать путем анализа и сравнения известных моделей [1 – 5] свободного движения материальной частицы M конечно малых размеров массой m в спокойной изотропной газообразной среде, характеризующейся плотностью ρ , с имеющимися экспериментальными данными (рис. 1) [1].